

【特許請求の範囲】

【請求項1】

p型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と、n型 $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$) からなる層とではさまれた多重井戸層が、
 $In_qGa_{1-q}N$ ($0 < q \leq 1$) からなる井戸層と、該井戸層に隣接する $In_rGa_{1-r}N$ ($0 \leq r < 1$) からなる障壁層であって隣接する井戸層との間では $r < q$ の関係になる障壁層とが交互に複数積層された層を含み、
 主に、前記p型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に近い井戸層で電子と正孔を再結合させて発光させる半導体発光素子。

【請求項2】

p型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と、n型 $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$) からなる層とではさまれた多重井戸層が、
 $In_qGa_{1-q}N$ ($0 < q \leq 1$) からなる井戸層と、該井戸層に隣接する $In_rGa_{1-r}N$ ($0 \leq r < 1$) からなる障壁層であって隣接する井戸層との間では $r < q$ の関係になる障壁層とが交互に複数積層された層を含み、
 前記井戸層は前記多重井戸層内で前記p型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に向けてqが漸増し、
 前記障壁層は前記多重井戸層内でrが一定の半導体発光素子。

【請求項3】

p型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と、n型 $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$) からなる層とではさまれた多重井戸層が、
 $In_qGa_{1-q}N$ ($0 < q \leq 1$) からなる井戸層と、該井戸層に隣接する $In_rGa_{1-r}N$ ($0 \leq r < 1$) からなる障壁層であって隣接する井戸層との間では $r < q$ の関係になる障壁層とが交互に複数積層された層を含み、
 前記井戸層は前記多重井戸層内でqが一定で、
 前記障壁層は前記多重井戸層内で前記p型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に向けてrが漸増する半導体発光素子。

【請求項4】

p型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と、n型 $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$) からなる層とではさまれた多重井戸層が、
 $In_qGa_{1-q}N$ ($0 < q \leq 1$) からなる井戸層と、該井戸層に隣接する $In_rGa_{1-r}N$ ($0 \leq r < 1$) からなる障壁層であって隣接する井戸層との間では $r < q$ の関係になる障壁層とが交互に複数積層された層を含み、
 前記井戸層は前記p型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に向けてqが漸増し、
 前記障壁層は前記p型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に向けてrが漸増する半導体発光素子。

【請求項5】

p型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と、n型 $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$) からなる層との間に、
 $In_sGa_{1-s}N$ ($0 < s \leq 1$) からなる井戸層と、該井戸層の片側、又は両側に接する $In_tGa_{1-t}N$ ($0 \leq t < 1$ 、 $t < s$) からなるSCH層とを有する半導体発光素子。

【請求項6】

請求項5に記載の半導体発光素子において、前記井戸層を前記p型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に寄せた位置に配置したことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項7】

請求項5又は6に記載の半導体発光素子において、前記SCH層はtが一定であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項8】

10

20

30

40

50

請求項5又は6に記載の半導体発光素子において、前記SCH層は井戸層に向けてtが漸増することを特徴とする半導体発光素子。

【請求項9】

請求項1乃至8に記載の半導体発光素子において、前記p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に、p型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z \leq 1$ 、 $z > x$) からなる層を設けたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項10】

請求項1乃至8に記載の半導体発光素子において、前記p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と前記多重井戸層又は前記SCH層との間に、前記p型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z \leq 1$ 、 $z > x$) からなる層を設けたことを特徴とする半導体発光素子。

10

【請求項11】

請求項1乃至10に記載の半導体発光素子において、前記n型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$) からなる層と前記多重井戸層又は前記SCH層との間にノンドープ型GaNからなるバッファ層を設けたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項12】

請求項1乃至10に記載の半導体発光素子において、前記p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層又は前記p型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z \leq 1$ 、 $z > x$) からなる層と前記多重井戸層又は前記SCH層との間にノンドープ型GaNからなるバッファ層を設けたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項13】

請求項1乃至12に記載の半導体発光素子において、少なくとも前記多重井戸層又は井戸層をメサ形状にして、レーザ発振が可能なことを特徴とする半導体発光素子。

20

【請求項14】

請求項1乃至12に記載の半導体発光素子において、発光した光を前記p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層の側から出射させることを特徴とする半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体発光素子に関する。特に、発光効率の向上を図った半導体発光素子に関する。半導体発光素子とは、発光ダイオード、スーパーluminescentダイオード、半導体レーザなどの光を発生する半導体素子をいう。

30

【0002】

【従来の技術】

従来の可視光の半導体発光素子は、InGaNからなる活性層をAlGaNからなるクラッド層ではさんだダブルヘテロ構造の窒化ガリウム系化合物半導体で構成していた。すなわち、n型AlGaNからなるクラッド層、クラッド層よりもバンドギャップエネルギーの小さいInGaNからなる活性層、p型AlGaNからなるクラッド層を積層し、ダブルヘテロ構造で発光させていた。

【0003】

これらの窒化ガリウム化合物には格子整合のよい基板がないため、サファイヤ基板にGaNを積層して格子整合を図っていた。また、InGaNからなる活性層の結晶欠陥を改善するために、AlGaN層やInGaN層を複数積層して、その上層にダブルヘテロ構造を形成していたが（例えば、特許文献1参照。）、十分には活性層の結晶欠陥が改善されているとは言えず、大きな発光出力を得ることができなかった。

40

【0004】

【特許文献1】

特開2001-284645号公報（第3図）

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

発明者は、可視光の半導体発光素子の発光出力を向上させるため、検討を進めた結果、I

50

nGa_{1-x}Nは結晶性が悪いことから、InGa_{1-x}Nが積層されることにより、格子歪が発生し、発光出力の低下につながることを見出した。

【0006】

発明者は、このような問題を解決するために、発光効率の向上と光出力の増大に向けて各種実験を行った。試作した半導体発光素子のエネルギーバンドを図1に示す。図1において、11はp型Al_xGa_{1-x}Nからなる層、12はn型Al_yGa_{1-y}Nからなる層、13はIn_qGa_{1-q}Nからなる層、31はノンドープ型Ga_{1-x}Nからなるバッファ層である。

【0007】

井戸層13への電子や正孔の閉じ込め効果が大きくなるように、井戸層13のIn_qGa_{1-q}Nよりもバンドギャップエネルギーの大きいp型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11とn型Al_yGa_{1-y}Nからなる層12で井戸層をはさんでいる。そこで、p型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11に対して、n型Al_yGa_{1-y}Nからなる層12は $y \leq x/2$ として、n型Al_yGa_{1-y}Nからなる層12のバンドギャップエネルギーを小さくし、電子の井戸層11への注入は低電圧で行え、井戸層からの正孔の漏れを防止できるようにしたものである。n型Al_yGa_{1-y}Nからなる層12と井戸層13との間にはノンドープ型Ga_{1-x}Nからなるバッファ層を設けている。

【0008】

このような構造の半導体発光素子に電流を通電して発光出力を測定したところ、十分な発光出力が得られなかった。このことから、バッファ層だけでは、井戸層の結晶性を十分に改善することができなかったものと推察できる。本発明は、半導体発光素子の井戸層の結晶性を改善すること等により、大きな発光出力を得ることを目的とする

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明は、p型Al_xGa_{1-x}Nからなる層と、n型Al_yGa_{1-y}Nからなる層とではさまれた層を多重井戸構造、あるいはSCH (Separate Confinement Heterostructure) 構造とする。

【0010】

具体的には、本願発明は、p型Al_xGa_{1-x}N ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と、n型Al_yGa_{1-y}N ($0 \leq y \leq 1$) からなる層とではさまれた多重井戸層が、In_qGa_{1-q}N ($0 < q \leq 1$) からなる井戸層と、該井戸層に隣接するIn_rGa_{1-r}N ($0 \leq r < 1$) からなる障壁層であって隣接する井戸層との間では $r < q$ の関係になる障壁層とが交互に複数積層された層を含み、主に、前記p型Al_xGa_{1-x}N ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に近い井戸層で電子と正孔を再結合させて発光させる半導体発光素子である。

【0011】

本願他の発明は、p型Al_xGa_{1-x}N ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と、n型Al_yGa_{1-y}N ($0 \leq y \leq 1$) からなる層とではさまれた多重井戸層が、In_qGa_{1-q}N ($0 < q \leq 1$) からなる井戸層と、該井戸層に隣接するIn_rGa_{1-r}N ($0 \leq r < 1$) からなる障壁層であって隣接する井戸層との間では $r < q$ の関係になる障壁層とが交互に複数積層された層を含み、前記井戸層は前記多重井戸層内で前記p型Al_xGa_{1-x}N ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に向けてqが漸増し、前記障壁層は前記多重井戸層内でrが一定の半導体発光素子である。

【0012】

本願他の発明は、p型Al_xGa_{1-x}N ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と、n型Al_yGa_{1-y}N ($0 \leq y \leq 1$) からなる層とではさまれた多重井戸層が、In_qGa_{1-q}N ($0 < q \leq 1$) からなる井戸層と、該井戸層に隣接するIn_rGa_{1-r}N ($0 \leq r < 1$) からなる障壁層であって隣接する井戸層との間では $r < q$ の関係になる障壁層とが交互に複数積層された層を含み、前記井戸層は前記多重井戸層内でqが一定で、前記障壁層は前記多重井戸層内で前記p型Al_xGa_{1-x}N ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に向けてrが漸増する半導体発光素子である。

【 0 0 1 3 】

本願他の発明は、 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と、 n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$) からなる層とではさまれた多重井戸層が、 $In_qGa_{1-q}N$ ($0 < q \leq 1$) からなる井戸層と、該井戸層に隣接する $In_rGa_{1-r}N$ ($0 \leq r < 1$) からなる障壁層であって隣接する井戸層との間では $r < q$ の関係になる障壁層とが交互に複数積層された層を含み、前記井戸層は前記 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に向けて q が漸増し、前記障壁層は前記 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に向けて r が漸増する半導体発光素子である。

【 0 0 1 4 】

本願発明のこれらの半導体発光素子によれば、 $In_qGa_{1-q}N$ からなる井戸層と $In_rGa_{1-r}N$ からなる障壁層であって、隣接する井戸層との間では $r < q$ の関係になる障壁層とが交互に複数積層された多重井戸層とすることにより、多重井戸層での結晶性が改善されると推察される。ひとつの井戸層を有する半導体発光素子に比べて、多重井戸層を有する半導体発光素子の方が大きな発光出力を得ることが出来る。

【 0 0 1 5 】

さらに、本願他の発明は、 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と、 n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$) からなる層との間に、 $In_sGa_{1-s}N$ ($0 < s \leq 1$) からなる井戸層と、該井戸層の片側、又は両側に接する $In_tGa_{1-t}N$ ($0 \leq t < 1$ 、 $t < s$) からなる SCH 層とを有する半導体発光素子である。

【 0 0 1 6 】

本願他の発明は、前記 SCH 層を有する半導体発光素子において、前記井戸層を前記 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に寄せた位置に配置したことを特徴とする半導体発光素子である。

【 0 0 1 7 】

本願他の発明は、前記 SCH 層を有する半導体発光素子において、又は、前記井戸層を前記 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に寄せた位置に配置した半導体発光素子において、前記 SCH 層は t が一定であることを特徴とする半導体発光素子である。

【 0 0 1 8 】

本願他の発明は、前記 SCH 層を有する半導体発光素子において、又は、前記井戸層を前記 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に寄せた位置に配置した半導体発光素子において、前記 SCH 層は井戸層に向けて t が漸増することを特徴とする半導体発光素子である。

【 0 0 1 9 】

ここで、SCH 層 (Separate Confinement Heterostructure) とは、井戸層に接するように配置し、かつ井戸層よりもエネルギーギャップを大きくした層をいう。

【 0 0 2 0 】

本願発明のこれらの半導体発光素子によれば、SCH 層を設けることによって、電子及び正孔を集中させることが出来る。このため、ひとつの井戸層を有する半導体発光素子に比べて、SCH 層を有する半導体発光素子の方が電子と正孔を効率的に再結合させることができ、大きな発光出力を得ることが出来る。

【 0 0 2 1 】

さらに、本願他の発明は、前記半導体発光素子において、前記 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層に、 p 型 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 < z \leq 1$ 、 $z > x$) からなる層を設けたことを特徴とする半導体発光素子である。

【 0 0 2 2 】

本願発明の半導体発光素子によれば、 p 型 $Al_zGa_{1-z}N$ からなる層において、 $z > x$ とすることにより、 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層よりもバンドギャップエネルギーを大きくして、井戸層からの電子の逃げを少なくすることができる。

【 0 0 2 3 】

10

20

30

40

本願他の発明は、前記半導体発光素子の前記 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と前記多重井戸層又は前記 SCH 層との間に、前記 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z \leq 1$ 、 $z > x$) からなる層を設けたことを特徴とする半導体発光素子である。

【0024】

本願発明の半導体発光素子によれば、p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ からなる層を前記 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層と前記多重井戸層又は前記 SCH 層との間に設けることによって、より効率的に井戸層からの電子の逃げを少なくすることができる。

【0025】

さらに、本願他の発明は、前記半導体発光素子の前記 n 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$) からなる層と前記多重井戸層又は SCH 層との間にノンドープ型 GaN からなるバッファ層を設けたことを特徴とする半導体発光素子である。 10

【0026】

本願発明の半導体発光素子によれば、GaN 層は AlGaIN 層や InGaIN 層に比較して結晶性がよく、ノンドープ型 GaN からなるバッファ層を設けることによって、井戸層での結晶性が改善されると推察される。バッファ層を有しない半導体発光素子に比べて、ノンドープ型 GaN からなるバッファ層を有する半導体発光素子の方が大きな発光出力を得ることが出来る。

【0027】

本願他の発明は、前記半導体発光素子の前記 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層又は前記 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z \leq 1$ 、 $z > x$) からなる層と前記多重井戸層又は前記 SCH 層との間にノンドープ型 GaN からなるバッファ層を設けたことを特徴とする半導体発光素子である。 20

【0028】

本願発明の半導体発光素子によれば、GaN 層は AlGaIN 層や InGaIN 層に比較して結晶性がよく、ノンドープ型 GaN からなるバッファ層を設けることによって、井戸層での結晶性が改善されると推察される。バッファ層を有しない半導体発光素子に比べて、ノンドープ型 GaN からなるバッファ層を有する半導体発光素子の方が大きな発光出力を得ることが出来る。

【0029】

さらに、本願他の発明は、前記半導体発光素子において、少なくとも前記多重井戸層又は井戸層をメサ形状にして、レーザ発振が可能なことを特徴とする半導体発光素子である。メサ形状にすることによって、電流及び発光した光を集中させてレーザ発振を容易にすることができる。 30

【0030】

さらに、本願他の発明は、前記半導体発光素子において、発光した光を前記 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層の側から出射させることを特徴とする半導体発光素子である。

本願発明の半導体発光素子によれば、再結合の行われる井戸層は前記 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層に近い位置である。前記 n 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ からなる層を基板側にすると、再結合の行われる井戸層の結晶性がより改善される配置となると推察され、大きな発光出力を得ることが出来る。 40

【0031】

【発明の実施の形態】

以下、本願発明の実施の形態について、添付の図面を参照して説明する。

(実施の形態 1)

本願発明の実施の形態である半導体発光素子のエネルギーバンド図を図 2、図 3、図 4、図 5 に示す。図 2、図 3、図 4、図 5 において、11 は p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層、12 は n 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ からなる層、13 は $\text{In}_q\text{Ga}_{1-q}\text{N}$ からなる井戸層、14 は $\text{In}_r\text{Ga}_{1-r}\text{N}$ からなる障壁層、15 は井戸層 13 と障壁層 14 が交互に積層された多重井戸層、31 はノンドープ型 GaN からなるバッファ層、32 はノンドー 50

プ型 Ga_yN からなるバッファ層である。

【0032】

図2、図3、図4、図5において、 n 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ からなる層12と多重井戸層15との間にノンドープ型 Ga_zN からなるバッファ層31を、 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層11と多重井戸層15との間にノンドープ型 Ga_zN からなるバッファ層32を設けると、 AlGa_zN 層は Ga_zN 層に対して、*tensile stress* (伸張性の力) が加わり、 InGa_zN 層は Ga_zN 層に対して、*compressive stress* (圧縮性の力) が加わる。 Ga_zN 層は AlGa_zN 層や InGa_zN 層に比較して結晶性がよく、 n 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ からなる層12や p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層11と $\text{In}_q\text{Ga}_{1-q}\text{N}$ からなる井戸層13とを直接、接触させるよりも、ノンドープ型 Ga_zN からなるバッファ層31または32を設けることによって、井戸層13での結晶性が改善されると推察される。従って、バッファ層を有しない半導体発光素子に比べて、ノンドープ型 Ga_zN からなるバッファ層を有する半導体発光素子の方が効率的に発光させることができ、大きな発光出力を得ることが出来る。

10

【0033】

図2、図3、図4、図5において、 $\text{In}_q\text{Ga}_{1-q}\text{N}$ ($0 < q \leq 1$) からなる井戸層13と、井戸層13に隣接する $\text{In}_r\text{Ga}_{1-r}\text{N}$ ($0 \leq r < 1$) からなる障壁層14とを交互に複数積層された多重井戸層15を設けている。井戸層13と井戸層13に隣接する障壁層14との間では、 $r < q$ の関係になるように設定されている。井戸層13と障壁層14とを繰り返して積層することによって、井戸層での結晶性が改善されると推察される。従って、ひとつの井戸層を有する半導体発光素子に比べて、多重井戸層を有する半導体発光素子の方が効率的に発光させることができ、大きな発光出力を得ることが出来る。

20

【0034】

井戸層13の厚さは正孔のドブロイ波の波長よりも短い4nm以下とし、障壁層14の厚さを電子のドブロイ波の波長よりも長い10nm以上とすることが好ましい。

【0035】

図2においては、多重井戸層内での各井戸層13及び各障壁層14はそれぞれ同じバンドギャップエネルギーを持たせている。各障壁層14を Ga_zN ($\text{In}_r\text{Ga}_{1-r}\text{N}$ において、 $r = 0$) で構成し、 $\text{In}_q\text{Ga}_{1-q}\text{N}$ からなる井戸層13と交互に積層することによって、井戸層での結晶性が改善される。

30

【0036】

図2において、井戸層13の厚さを3nmとし、障壁層14を Ga_zN ($\text{In}_r\text{Ga}_{1-r}\text{N}$ において、 $r = 0$) で構成し、その厚さを18nmとして、また、各井戸層のバンドギャップエネルギー E_g を僅かシフトして発光波長をずらせ、発光波長を検出することによって多重井戸層15においてどの井戸層が発光しているかを実験で確認したところ、 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層11に最も近い井戸層で発光強度が最も強いことが判明した。これは、電子と正孔の有効質量の差から、 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層11に最も近い井戸層で電子と正孔の再結合が起こっていると推測される。 n 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ からなる層12の側を基板側にして、各井戸層を積層すると p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層11に近い側の井戸層の結晶性が改善されると推察される。従って、 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層11に近い井戸層での結晶性がよい場合は、これらの井戸層で電子と正孔の再結合が効率的に起こるようにすると、大きな発光出力が得られる。

40

【0037】

また、図2の構成では、障壁層の屈折率が支配的となるため、屈折率が比較的 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層11、又は n 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ からなる層12に近くなり、面発光型の半導体発光素子に適している。

【0038】

図3は、井戸層13が多重井戸層15内で p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層11に向けて $\text{In}_q\text{Ga}_{1-q}\text{N}$ からなる井戸層の q が漸増し、障壁層14は多重井戸層15内で $\text{In}_r\text{Ga}_{1-r}\text{N}$ からなる障壁層の r が一定の半導体発光素子である。特に、各障壁層1

50

4をGa_{1-x}N (In_rGa_{1-r}Nにおいて、 $r=0$)で構成し、In_qGa_{1-q}Nからなる井戸層13と交互に積層することによって、井戸層での結晶性が改善される。n型Al_yGa_{1-y}Nからなる層12の側を基板側にして、各井戸層を積層するとp型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11に近い井戸層の結晶性が改善されると推察される。p型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11に近い井戸層でのバンドギャップエネルギーを最も小さくし、その井戸層に正孔を蓄積しやすくして、電子と正孔の再結合が効率的に起こるようにすると、大きな発光出力が得られる。従って、このようなエネルギーバンドとなる半導体発光素子において、効率的に発光させることができ、大きな発光出力を得ることが出来る。

また、図3の構成では、障壁層の屈折率が支配的となるため、屈折率が比較的p型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11、又はn型Al_yGa_{1-y}Nからなる層12に近くなり、面発光型の半導体発光素子に適している。

【0039】

図4は、井戸層13は多重井戸層15内でIn_qGa_{1-q}Nからなる井戸層のqが一定で、障壁層14は多重井戸層15内でp型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11に向けてIn_rGa_{1-r}Nからなる障壁層のrが漸増する半導体発光素子である。障壁層を徐々に発光する井戸層に近づけて交互に積層することによって、p型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11に近い井戸層の結晶性が改善されると推察される。p型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11に近い井戸層で電子と正孔の再結合が起こるため、大きな発光出力が得られる。従って、このようなエネルギーバンドとなる半導体発光素子において、効率的に発光させることができ、大きな発光出力を得ることが出来る。

また、図4の構成では、障壁層の屈折率が支配的となるため、屈折率分布が比較的井戸層に近くなり、端面発光型の半導体発光素子にも適用できる。

【0040】

図5は、In_qGa_{1-q}Nからなる井戸層13と隣接するIn_rGa_{1-r}Nからなる障壁層14との間では $r < q$ の関係を維持しつつ、井戸層13は前記p型Al_xGa_{1-x}N ($0 \leq x \leq 1$)からなる層に向けてIn_qGa_{1-q}Nからなる井戸層のqが漸増し、障壁層14はp型Al_xGa_{1-x}N ($0 \leq x \leq 1$)からなる層に向けてIn_rGa_{1-r}Nからなる障壁層のrが漸増する半導体発光素子である。障壁層と井戸層とを交互に積層することによって、上層となるp型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11に近い井戸層の結晶性が改善されると推察される。p型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11に近い井戸層で電子と正孔の再結合が起こるため、大きな発光出力が得られる。従って、このようなエネルギーバンドとなる半導体発光素子において、効率的に発光させることができ、大きな発光出力を得ることが出来る。

また、図5の構成では、障壁層の屈折率が支配的となるため、屈折率分布が比較的井戸層に近くなり、端面発光型の半導体発光素子にも適用できる。

【0041】

図2、図3、図4、図5において、p型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11のxに対して、n型Al_yGa_{1-y}Nからなる層12のyについて、 $y \leq x/2$ となる関係になるように設定すれば、p型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11よりn型Al_yGa_{1-y}Nからなる層12のバンドギャップエネルギーを小さくすることができる。電子については、n型Al_yGa_{1-y}Nからなる層12のバンドギャップエネルギーを相対的に小さくすることによって、n型Al_yGa_{1-y}Nからなる層12から多重井戸層15への電子の注入が低電圧でなされる。p型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11のバンドギャップエネルギーを相対的に大きくすることによって、多重井戸層15からp型Al_xGa_{1-x}Nからなる層11への電子の逃げを少なくすることができる。正孔については、電子よりも有効質量が大きいため、多重井戸層15に注入された正孔のn型Al_yGa_{1-y}Nからなる層12への逃げは少ない。このため、低電圧で動作させることができると同時に、電子や正孔の閉じ込め効果が高まり、効率的に発光させることができ、大きな発光出力を得ることが出来る。

【 0 0 4 2 】

(実施の形態 2)

本願発明の実施の形態である半導体発光素子のエネルギーバンド図を図 6 から図 10 に示す。図 6 乃至図 10 において、11 は p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層、12 は n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層、21 は $In_xGa_{1-x}N$ からなる井戸層、22 は $In_zGa_{1-z}N$ からなる SCH 層である。p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 11 と SCH 層 22 との間にノンドープ型 GaN からなるバッファ層を設けてもよい。また、n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 12 と SCH 層 22 との間にノンドープ型 GaN からなるバッファ層 31 を設けてもよい。

【 0 0 4 3 】

10

図 6 乃至図 10 において、p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 11 の x に対して、n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 12 の y について、 $y \leq x/2$ となる関係になるように設定すれば、p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 11 より n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 12 のバンドギャップエネルギーを小さくすることができる。電子については、n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 12 のバンドギャップエネルギーを相対的に小さくすることによって、n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 12 から SCH 層 22 への電子の注入が低電圧でなされる。p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 11 のバンドギャップエネルギーを相対的に大きくすることによって、SCH 層 22 から p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 11 への電子の逃げを少なくすることができる。正孔については、電子よりも有効質量が大きいこと、SCH 層 22 に注入された正孔の n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 12 への逃げは少ない。このため、効率的に発光させることができ、大きな発光出力を得ることが出来る。

20

【 0 0 4 4 】

図 6 乃至図 10 において、井戸層 21 に接するように井戸層 21 の両側に SCH 層 22 を設けている。 $In_xGa_{1-x}N$ からなる井戸層 21 の両側に $In_zGa_{1-z}N$ からなる SCH 層 22 を設け、 $t < s$ とすることによって、SCH 層に電子と正孔を閉じ込めて、井戸層 21 で効率的に再結合させることができる。また、井戸層 21 のバンドギャップエネルギーを SCH 層 22 よりも小さくして、井戸層 21 で電子と正孔の再結合を容易にして、井戸層 21 で集中的に発光させることができる。また、SCH 層の屈折率が支配的となるため、屈折率分布が比較的井戸層に近くなり、端面発光型の半導体発光素子にも適用することができる。

30

【 0 0 4 5 】

図 6 乃至図 10 において、井戸層 21 を SCH 層 22 の中で、p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる層 11 に寄せた位置に配置している。電子と正孔の有効質量の違いから、p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 11 に近い位置の井戸層 21 で電子と正孔が再結合することが効率的であると考えられる。そこで、井戸層 21 を p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 11 に近い位置に配置することによって、井戸層で集中的に電子と正孔の再結合させて、大きな発光出力を得ることができる。

【 0 0 4 6 】

図 6 は、 $In_xGa_{1-x}N$ からなる SCH 層 22 の t を $0 \leq t < 1$ の範囲内で平坦にしている。SCH 層 22 のバンドギャップエネルギーが n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 12 よりも小さく、井戸層 21 よりも大きければよい。SCH 層での組成を一定にすると、製造が容易になる。

40

なお、図 6 の構成に、井戸層を複数設けて多重量子井戸構造の半導体レーザとすると、発光特性の改善が図れる。

【 0 0 4 7 】

図 7 は、 $In_xGa_{1-x}N$ からなる SCH 層 22 の t を井戸層 21 に向けて線形的に漸増させたものである。n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 12 と SCH 層 22 の間にノンドープ型 GaN からなるバッファ層も設けて、バッファ層のバンドギャップエネルギーから井戸層のバンドギャップエネルギーに向けて、 $In_xGa_{1-x}N$ からなる SCH 層 2

50

2 の t を漸増させてもよい。また、 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 1 1 と SCH 層 2 2 の間にノンドープ型 GaN からなるバッファ層も設けて、バッファ層のバンドギャップエネルギーから井戸層のバンドギャップエネルギーに向けて、 $In_xGa_{1-x}N$ からなる SCH 層 2 2 の t を漸増させてもよい。

【 0 0 4 8 】

SCH 層を積層するときに、滑らかにエネルギーバンドを変化させることが困難な場合は、図 8 に示すように、 In と Ga の比率を徐々に変えて SCH 層を積層することで、図 7 と同じ効果が得られる。

【 0 0 4 9 】

図 7 又は図 8 に示すエネルギーバンドとすることにより、半導体発光素子において井戸層 10 に向けて結晶性を改善しつつ、井戸層で電子と正孔の再結合を容易にして、井戸層 2 1 で集中的に発光させることができる。

【 0 0 5 0 】

図 9、図 10 は $In_xGa_{1-x}N$ からなる SCH 層 2 2 の t を井戸層 2 1 に向けて放物的に漸増させたものであり、SCH 層を積層するときに、滑らかにエネルギーバンドを変化させることが困難な場合は、図 10 に示すように、 In と Ga の比率を徐々に変えて SCH 層を積層することで、図 9 と同じ効果が得られる。

【 0 0 5 1 】

図 6 乃至図 10 において、 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 1 1 の x に対して、 n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 1 2 の y について、 $y \leq x/2$ となる関係になるように設定 20 すれば、 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 1 1 より n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 1 2 のバンドギャップエネルギーを小さくすることができる。電子については、 n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 1 2 のバンドギャップエネルギーを相対的に小さくすることによって、 n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 1 2 から SCH 層 2 2 への電子の注入が低電圧でなされる。 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 1 1 のバンドギャップエネルギーを相対的に大きくすることによって、SCH 層 2 2 から p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層 1 1 への電子の逃げを少なくすることができる。正孔については、電子よりも有効質量が大きい ため、SCH 層 2 2 に注入された正孔の n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層 1 2 への逃げは少ない。このため、低電圧で動作させることができると同時に、電子や正孔の閉じ込め効果が高まり、効率的に発光させることができ、大きな発光出力を得ることが出来る 30 。

【 0 0 5 2 】

図 11 に、SCH 層の光集中効果を表す図を示す。図 11 において、SCH 層のない井戸層だけの半導体発光素子（図 11 において、「SCH 層なし」）、図 6 に対応するバンドエネルギーを持つ半導体発光素子（図 11 において、「平坦型 SCH 層」）、図 7 に対応するバンドエネルギーを持つ半導体発光素子（図 11 において、「線形型 SCH 層」）、図 9 に対応するバンドエネルギーを持つ半導体発光素子（図 11 において、「放物型 SCH 層」）の光強度分布である。波長 400 nm において、井戸層の幅が 4.3 nm、井戸層と p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層との距離が 5 nm、井戸層と n 型 $Al_yGa_{1-y}N$ からなる層との距離が 25 nm のときに、井戸層で発光した光の閉じ込め効果をシミュレーションしたものである。 40

【 0 0 5 3 】

図 11 より、SCH 層の存在によって、井戸層で発光した光を井戸層近辺に集中させることができることが分かる。SCH 層の屈折率を高くすると、半導体レーザや端面出射型発光ダイオードのように、井戸層に沿って出射させる半導体発光素子にとっては、効率的な光出力が得られることになる。

【 0 0 5 4 】

（実施の形態 3）

本願発明の実施の形態である半導体発光素子のエネルギーバンド図を図 12、図 13 に示す。図 12 又は図 13 において、1 1 は p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層、1 2 は n 型

$Al_xGa_{1-y}N$ からなる層、13は $In_qGa_{1-q}N$ からなる井戸層、14は $In_rGa_{1-r}N$ からなる障壁層、15は井戸層13と障壁層14が交互に積層された多重井戸層、31はノンドープ型 GaN からなるバッファ層、32はノンドープ型 GaN からなるバッファ層、33は p 型 $Al_zGa_{1-z}N$ からなるせき止め層である。

【0055】

図2で説明した実施の形態との差はせき止め層33である。電子の有効質量は正孔よりも小さいことから、 p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層11を超えて電子が逃げてしまう可能性がある。そこで、 p 型 $Al_zGa_{1-z}N$ からなるせき止め層33を p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ に対して、 $z > x$ とすることによって、せき止め層33のバンドギャップエネルギーを大きくして、電子の逃げを防止するものである。図13に示すように、せき止め層33を p 型 $Al_xGa_{1-x}N$ からなる層11と多重井戸層15との間に配置すると、より効果的に電子をせき止めることができる。さらに、図13において、せき止め層33と多重井戸層15との間にノンドープ型 GaN からなるバッファ層を設けてもよい。実験では、3nmの厚さの p 型 $Al_zGa_{1-z}N$ からなるせき止め層であっても、電子の逃げを防止することができ、無効電流を低減することができた。

【0056】

(実施の形態4)

本願発明の実施の形態である多重井戸層をメサ形状にした半導体発光素子の構造を図14に示す。図14において、1は半導体発光素子、15は多重井戸層、16はレーザ光の出射端面である。多重井戸層でレーザ発振した光は出射端面16から出射する。

【0057】

半導体発光素子1の少なくとも多重井戸層15の部分を図14に示すようなメサ形状にすることによって、多重井戸層15に平行方向であって、レーザ光の出射方向に垂直な方向に対して電流狭窄することができる。電流狭窄によって、半導体発光素子の効率的な発光を可能とする。半導体発光素子がSCH層と井戸層とを有する場合であっても、少なくとも井戸層の部分を図14に示すようなメサ形状にすることによって電流狭窄することができる。電流狭窄によって、半導体発光素子の効率的な発光を可能とする。

【0058】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、半導体発光素子を効率的に発光させることができ、大きな発光出力を得ることが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】単一井戸層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明する図である。

【図2】本発明の多重井戸層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明する図である。

【図3】本発明の多重井戸層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明する図である。

【図4】本発明の多重井戸層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明する図である。

【図5】本発明の多重井戸層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明する図である。

【図6】本発明の平坦型SCH層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明する図である。

【図7】本発明の線形型SCH層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明する図である。

【図8】本発明の線形型SCH層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明する図である。

【図9】本発明の放物型SCH層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明する図である。

【図10】本発明の放物型SCH層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明す

る図である。

【図 1 1】本発明の S C H 層を有する半導体発光素子の光強度分布を説明する図である。

【図 1 2】本発明のせき止め層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明する図である。

【図 1 3】本発明のせき止め層を有する半導体発光素子のエネルギーバンドを説明する図である。

【図 1 4】本発明のメサ形状を有する半導体発光素子の構造を説明する図である。

【符号の説明】

1 : 半導体発光素子

1 1 : p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層

1 2 : n 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ からなる層

1 3 : $\text{In}_q\text{Ga}_{1-q}\text{N}$ からなる井戸層

1 4 : $\text{In}_r\text{Ga}_{1-r}\text{N}$ からなる障壁層

1 5 : 井戸層と障壁層が交互に積層された多重井戸層

1 6 : 出射端面

2 1 : $\text{In}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ からなる井戸層

2 2 : $\text{In}_t\text{Ga}_{1-t}\text{N}$ からなる S C H 層

3 1 : ノンドープ型 GaN からなるバッファ層

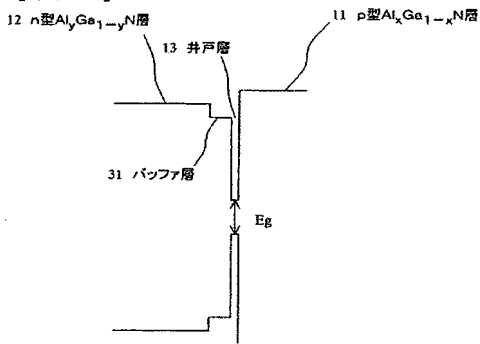
3 2 : ノンドープ型 GaN からなるバッファ層

3 3 : p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ からなるせき止め層

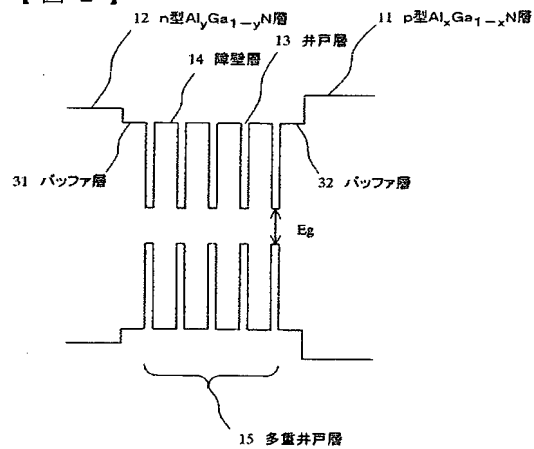
10

20

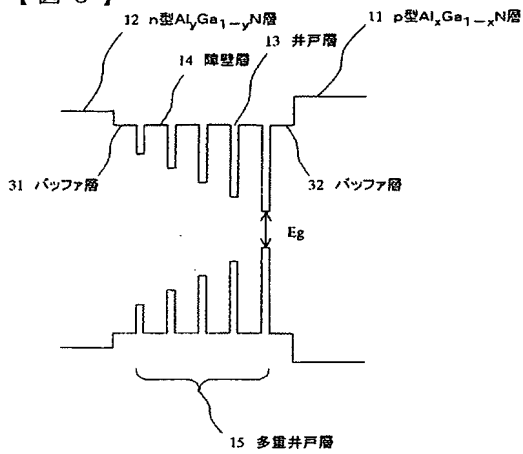
【図 1】



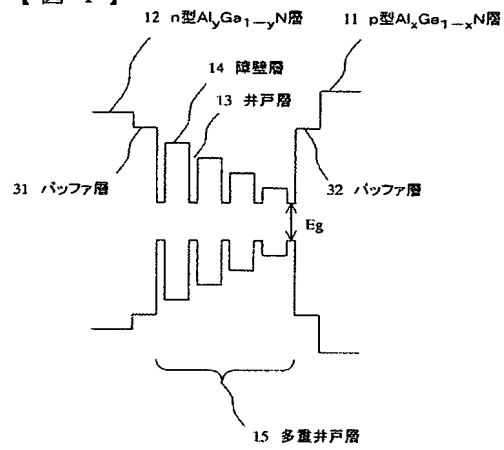
【図 2】



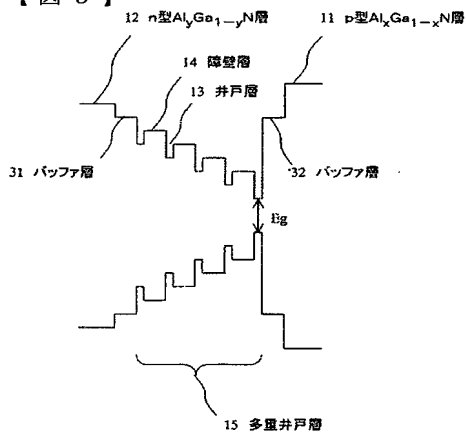
【 図 3 】



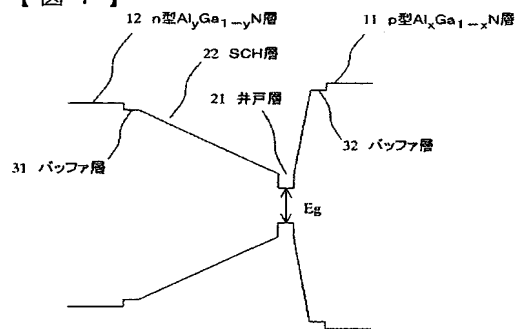
【 図 4 】



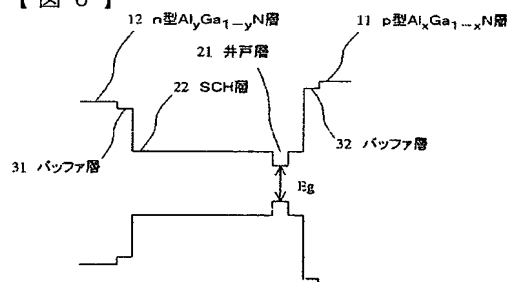
【 図 5 】



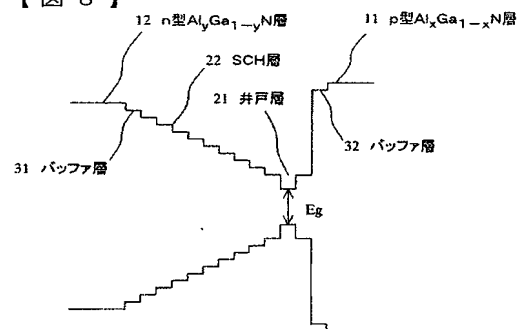
【 図 7 】



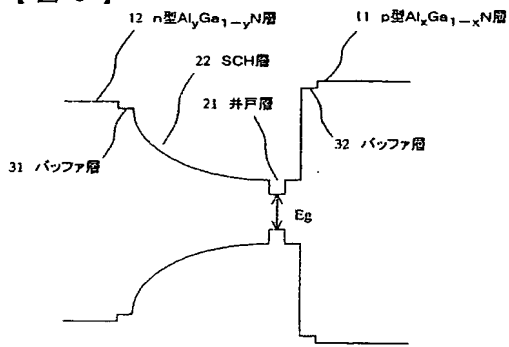
【 図 6 】



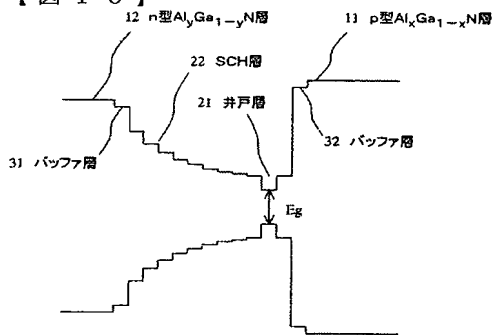
【 図 8 】



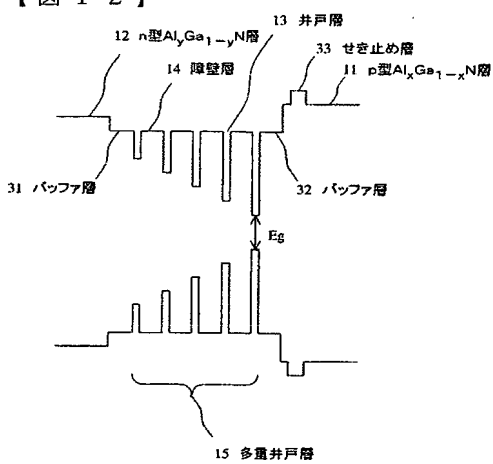
【 図 9 】



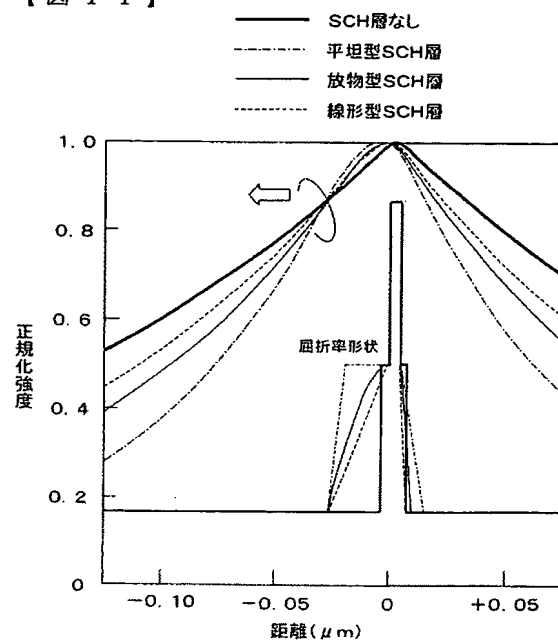
【 図 10 】



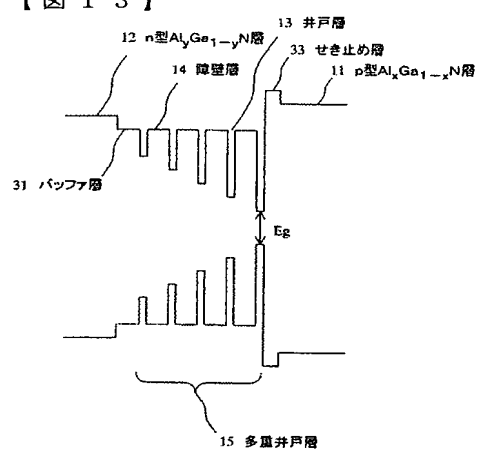
【 図 12 】



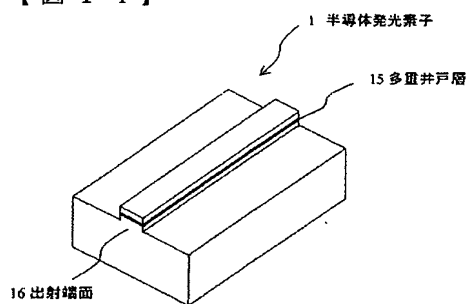
【 図 11 】



【 図 13 】



【 図 14 】



フロントページの続き

(72)発明者 名倉 孝昭

京都府京都市右京区西院溝崎町2 1 番地ローム株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA03 CA05 CA12 CA14 CA40 CA60

5F073 AA74 CA07 EA24